

*Испытания космических аппаратов и материалы для работы в экстремальных условиях*

охлаждения объекта с помощью импедансной томографии. Ослабление спектра в широком диапазоне обусловлено простотой исследуемого образца. В дальнейшем планируются эксперименты с более сложными биологическими объектами – мышечной и жировой тканью. Используя полученные результаты (спектральную характеристику поглощения сигналов) будут проведены экспериментальные исследования по определению глубины промерзания ткани и величины крионекроза.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Королук Е.С., Бразовский К.С. Повышение эффективности криодеструкции с помощью измерения глубины промерзания ткани // Наука. Технологии. Инновации: Труды X всероссийской научно-практ. конф. молодых ученых. – Новосибирск, 2016. – Т. 6. – С. 96–97.
2. Метод определения времени промерзания слизистой оболочки полости рта на заданную глубину. Эпштейн В. Г., Точиловская Р. В. // Криобиология и Криомедицина, 1984. – (Электронный ресурс: <https://goo.gl/xN7QSW>). Дата обращения 5.03.2017.
3. Ессентуки (минеральная вода). – (Электронный ресурс: <https://goo.gl/Dm4qEf>). Дата обращения 10.03.2017.
4. The AD9764 is the 14-bit resolution, high performance, low power CMOS digital-to-analog converter. – (Электронный ресурс: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9764.pdf>). Дата обращения 05.03.2017.
5. STM32F103-STMicroelectronics. – (Электронный ресурс: <https://goo.gl/StWQRE>). Дата обращения 06.03.2017.
6. Быстродействующий модуль АЦП / ЦАП E20-10 на шину USB. – (Электронный ресурс: <http://www.lcard.ru/products/external/e20-10>). Дата обращения 07.03.2017.

**УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИТОВ**

Маликов Р.А.<sup>1</sup>, Чулков А.О.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Вавилов В.П., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ram7@tpu.ru

**ULTRASONIC THERMOGRAPHIC CONTROL OF COMPOSITES**

Malikov R.A.<sup>1</sup>, Chulkov A.O.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Vavilov V.P

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: ram7@tpu.ru

*В данной статье приведены результаты исследования эффективности ультразвукового термографического контроля, как одного из методов теплового контроля, по нахождению различного рода дефектов в композитных материалах.*

*This study contains the results of the study of the effectiveness of ultrasonic thermographic control, as one of the methods of active thermal control to find defects in composite materials.*

Благодаря своей универсальности, тепловой контроль позволяет испытывать металлические и неметаллические материалы, используя различные методы тепловой стимуляции и выявляя дефекты различного происхождения и размеров [1]. К традиционным методам стимуляции изделий относят

термоволновой и импульсный нагрев объекта с помощью различных источников теплового излучения [2]. В качестве источников нагрева обычно используются галогеновые и светодиодные излучатели.

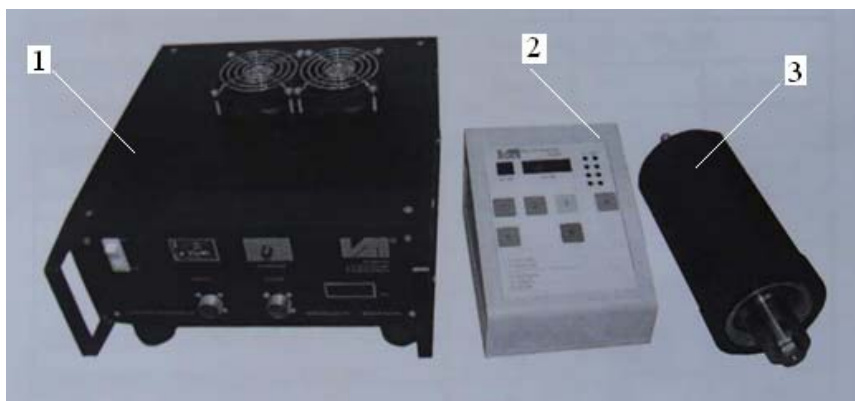
В последние годы проявляется большой интерес к ультразвуковой (УЗ), как непрерывной, так и импульсной стимуляции изделий, которая сопровождается тепловизионной регистрацией тепловых полей. Главным отличием ультразвуковой стимуляции от традиционной является то, что при воздействии ультразвуком на объект контроля существенное повышение температуры происходит исключительно в области дефектов с трущимися краями, оставляя бездефектные зоны «холодными». Данный вид контроля является во многих случаях практически незаменимым благодаря сочетанию ряда характерных для ультразвукового неразрушающего контроля свойств. Описываемый в статье метод является превентивной мерой прогнозирования и предотвращения неисправностей, аварийного выхода из строя машин, механизмов, трубопроводов, металлоконструкций, различных сосудов и аппаратов, которые работают под высоким давлением, а также поковок, листового проката, труб и других видов продукции.

В тепловом контроле УЗ стимуляция осуществляется двумя способами: непрерывная стимуляция и импульсная (в «классическом» тепловом контроле полным аналогами данных процедур являются нагрев объектов контроля тепловыми волнами и импульсами оптического излучения [3]).

Основным преимуществом УЗ стимуляции при сравнении с оптической стимуляцией является то, что ультразвук существенно повышает температуру только в зоне дефектов, оставляя зоны, свободные от дефектов «холодными», что очень удобно.

#### **Экспериментальная установка**

Имеющаяся в распоряжении лаборатории № 34 «Тепловых методов контроля» ИНК ТПУ установка представляет собой алюминиевый каркас, с закреплённым в нём магнитострикционным преобразователем, с помощью которого и проводится ультразвуковая стимуляция объекта контроля (рис. 2). В комплекте с преобразователем имеются генератор ультразвуковой частоты ИЛ 10-2,5М и контроллер управления. Данные элементы, объединённые вместе, представляют собой устройство для ультразвуковой стимуляции дефектов (рис. 1).



*Рис. 1. Общий вид устройства ультразвуковой стимуляции:*

*1 – генератор ультразвуковой частоты ИЛ 10-2,5М; 2 – контроллер управления; 3 – магнитострикционный преобразователь в бачке охлаждения с индентором*

Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 2. Термограммы получены с помощью тепловизора.

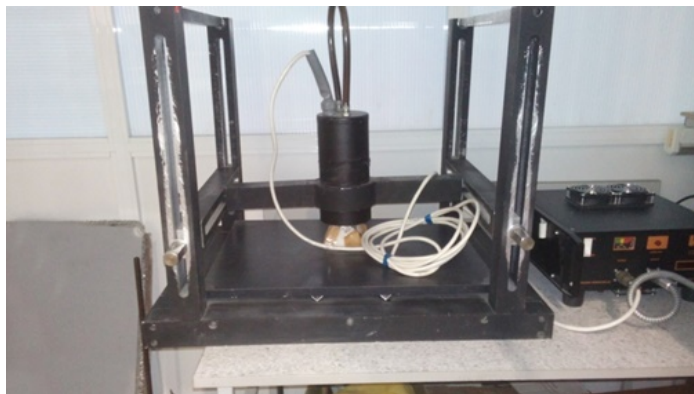


Рис. 2. Экспериментальная установка

### Экспериментальные исследования

Целью эксперимента была проверка устройства на работоспособность и возможность обнаружения дефектов.

На рис. 3 представлена схема УЗ стимуляции усталостных и ударных трещин в контролируемом объекте. Индентор под воздействием статической и динамической силы, создаваемой колебательной системой, передает ультразвуковые колебания в исследуемую деталь или конструкцию.

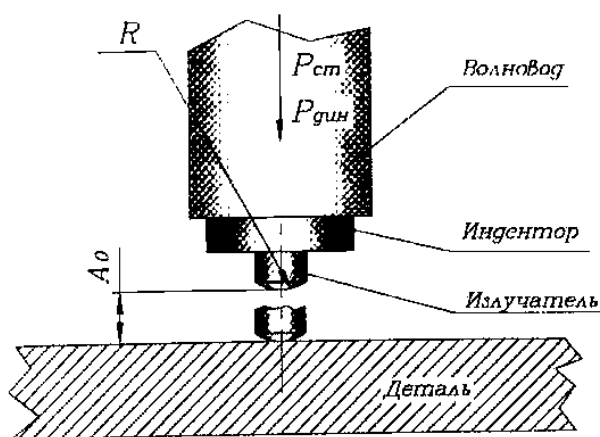


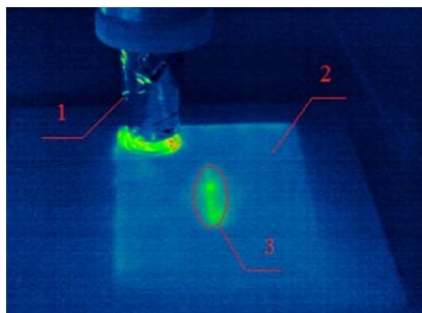
Рис. 3. Схема ультразвуковой стимуляции структурных неоднородностей:  $P_{дин}$  – динамическая сила;  $P_{ст}$  – статическая сила;  $A_0$  – амплитуда колебаний излучателя;  $R$  – радиус сферы излучателя.

На рис. 4 изображён процесс исследования объекта контроля, с помощью ультразвуковой стимуляции исследуемого объекта. Термограммы снимали с помощью тепловизора.

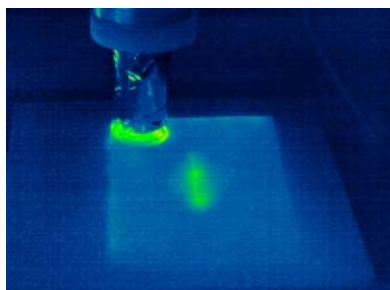


Рис. 4. Экспериментальные исследования объекта с помощью ультразвуковой стимуляции

В процессе исследования были получены термограммы (рис. 5 и 6) контроля объекта.



*Рис. 5. Термограмма объекта контроля: 1 – ультразвуковой магнитострикционный преобразователь; 2 – объект контроля (пластина из стеклопластика); 3 – дефект*



*Рис. 6. Термограмма объекта контроля*

Заранее было известно, что исследуемый образец был повреждён. Исследования проводились с целью определения работоспособности устройства и возможности обнаружения дефектов. Дефект представлял собой ударные повреждения стеклопластиковой пластины тяжелым металлическим шарообразным предметом. Как видно на термограмме дефект отлично просматривается, соответственно данную установку можно считать рабочей и применять для контроля повреждений в объектах.

В целом, можно сказать, что применение ультразвуковой стимуляции изделий при тепловом контроле является перспективным, однако некоторые особенности данного метода требуют более глубокого рассмотрения; например, во многих случаях, где с большой уверенностью ожидалось возникновение температурных сигналов, такие сигналы не были зарегистрированы. Динамический отклик контролируемых объектов зависит от энергии возбуждения, наличия хорошего контакта между изделием и УЗ стимулятором, способа закрепления объектов контроля, в особенности, тонких изделий, а также свойств материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vavilov V.P., Nesteruk D.A., Chulkov A.O., Shiryayev V.V. An apparatus for the active thermal testing of corrosion in steel cylindrical containers and test results, Russian Journal of Nondestructive Testing, Vol. 49, Iss. 11, November 2013, Pages 619-624, DOI: 10.1134/S1061830913110089.
2. Vavilov V.P., Chulkov A.O., Derusova D. IR thermographic characterization of low energy impact damage in carbon/carbon composite by applying optical and ultrasonic stimulation, Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering Volume 9105, 2014, Article number 91050J, DOI: 10.1117/12.2049810.
3. Xingwang Guo, Vladimir Vavilov – Crack detection in aluminum parts by using ultrasound-excited infrared thermography, Received 31 May 2013, Journal «Infrared Physics & Technology».